

TUGAS AKHIR

METODE PERKUATAN GIRDER JEMBATAN MENGGUNAKAN LEMBARAN FRP AKIBAT RETAKAN GESER (*STUDI KASUS : JEMBATAN MALELLENG*)



OLEH :

ELYSER SENOBAAN

D 111 09 278

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2016



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

KAMPUS TAMALANREA TELP. (0411) 587 636 FAX. (0411) 580 505 MAKASSAR 90245
E-mail : sipil.unhas@yahoo.co.id

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : " **Metode Perkuatan Girder Jembatan Menggunakan Lembaran FRP Akibat Retakan Geser (Studi Kasus : Jembatan Melleng).**"

Disusun Oleh :

Nama : Elyser Senoban

D111 09 278

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 02 Maret 2016

Pembimbing I

Dr. Rudy Djamaluddin, ST. M. Eng.
Nip. 19701108 199412 1001

Pembimbing II

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawati, ST .MT.
Nip. 197206192000122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil,



Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT
Nip. 19601231 198609 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“METODE PERKUATAN GIRDER JEMBATAN MENGGUNAKAN LEMBARAN FRP AKIBAT RETAKAN GESER (STUDI KASUS : JEMBATAN MALELLENG)”**, sebagai salah satu persyaratan yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil studi kasus yang dilaksanakan di Jembatan Maleleng Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada para pembaca mengenai penggunaan lembaran FRP dalam mengatasi kegagalan struktur beton bertulang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayahanda Yohanis K. Senobaan dan Ibunda Marcia R. Tarukbua' untuk semua kasih sayang dan doa yang selalu diberikan, untuk semua dukungan moral dan materiil yang tidak akan pernah mampu ananda balas.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT. , selaku ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST. M.Eng. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawati, ST. MT. selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan

pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.

4. Bapak Muharrar Ahmad ST. dan Ray Rusandy Kati sebagai partner dalam melaksanakan penelitian dan menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
5. Saudara-saudariku : Marly Senobaan, Ambry Tarukbua, Jefry Senobaan dan Scholastika Senobaan untuk semua dukungan dan doa yang senantiasa diberikan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
6. Semua dosen dan pegawai Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dan adik-adik Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk semua bantuan dan kerjasama selama penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman angkatan sipil 2009: Ari, Aprianto, Boni, Louis, Ishak, Yaltris, Septiadi terima kasih atas dukungan dan kebersamaanya selama ini.
8. Teman-teman KMKT : Pius, Lynda, Eta dan semua anggota keluarga yang selalu memberi semangat dalam penyelesain tugas akhir ini.
9. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu karena begitu banyaknya bantuan, dukungan dan doa yang penulis terima selama penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis akan sangat berterima

kasih atas setiap koreksi dan saran demi kelanjutan penyusunan yang jauh lebih baik.

Akhir kata, penulis berharap dengan selesainya penulisan dan penyusunan tugas akhir ini maka dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi peningkatan pengetahuan semua pihak yang turut membaca.

Makassar, Maret 2016

Penulis

METODE PERKUATAN GIRDER JEMBATAN MENGUNAKAN LEMBARAN FRP AKIBAT RETAKAN GESER (*STUDI KASUS : JEMBATAN MALELLENG*)

Rudy Djamaluddin¹⁾, Rita Irmawati²⁾, Elyser Senobaan³⁾

Abstrak

Perencanaan desain struktur merupakan salah satu hal yang mendasar dalam proses pembangunan jembatan. Proses desain dan pelaksanaan pekerjaan yang dilaksanakan sebagaimana mestinya tentu akan menghasilkan jembatan yang memiliki kapasitas struktur sesuai dengan yang direncanakan. Namun tidak semua perencanaan desain struktur menghasilkan kapasitas sesuai perencanaan. Kehancuran pelat jembatan, balok-balok, kolom, gedung dan lain-lain umumnya disebabkan desain awal yang lemah atau kurang, kelemahan perawatan, dan kejadian-kejadian alam/lingkungan. Seperti yang terjadi pada jembatan Maleleng di kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan dimana balok pada pinggir jembatan mengalami retak pada tumpuan balok atau daerah geser. Kasus pada jembatan tersebut sangat mungkin terjadi retak yang berlanjut pada keruntuhan jembatan jikaantisipasi tidak segera dilakukan pada balok. Untuk mengantisipasi terjadinya keruntuhan pada balok tersebut maka perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan struktur pada girder jembatan. Pada saat ini telah banyak berkembang metode perbaikan dan perkuatan struktur salah satunya dengan menggunakan lembaran FRP (*Fibre Reinforced Polymer*). Sistem perkuatan FRP pada beton dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan beton dengan menggunakan perekat epoxy. ***Fibre Reinforced Polymer*** (FRP) merupakan bahan yang ringan, kuat dan tahan terhadap korosi. FRP cukup mudah diaplikasikan pada beton bertulang dan terbukti ekonomis digunakan sebagai material untuk memperbaiki dan meningkatkan ketahanan struktur. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengatasi kegagalan struktur pada bidang geser adalah menggunakan GFRP (*glass fiber reinforced polymer*) dengan *U wrapping 1 layer*. Berdasarkan analisis menurut *ACI 318-1995* nilai kapasitas geser dari girder meningkat **53,34 %** setelah diperkuat menggunakan **GFRP SEH51A**.

Kata Kunci : Retakan Geser, Perkuatan Girder, FRP (*fiber reinforced polymer*), GFRP (*glass fiber reinforced polymer*)SEH51A, Jembatan Maleleng.

^{1),2)} Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, 90245

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin 90245

METODE PERKUATAN GIRDER JEMBATAN MENGUNAKAN LEMBARAN FRP AKIBAT RETAKAN GESER (STUDI KASUS : JEMBATAN MALELLENG)

ABSTRACT

Planning the design of the structure is one of the fundamental things in the process of construction of the bridge. Process design and execution of the work is being implemented properly it will produce a bridge which has a capacity in accordance with the planned structure. But not all of the planning design of structures produces appropriate capacity planning. The destruction of the bridge plate, beams, columns, and other buildings are generally caused by the initial design are weak or lacking, the treatment weakness, and events / environment. As happened on the bridge Pangkep Maleleng district, South Sulawesi, where the beam at the side of the bridge suffered cracks in the foundation beam or shear area. Cases on the bridge so may cause cracks that continues to collapse the bridge if the anticipation is not immediately performed on the beam. To anticipate the collapse of the beam it is necessary to repair and retrofitting of structures on the bridge girder. At this time has evolved methods of improvement and reinforcement structure of one of them by using a sheet of FRP (Fibre Reinforced Polymer). FRP reinforcement system in concrete is done by pasting on the surface of the concrete with epoxy. Fibre Reinforced Polymer (FRP) is a material that is light, strong and resistant to corrosion. FRP is quite easy to apply on concrete and proven economically used as materials to repair and improve the durability of the structure. In this study, the method used to address structural failure in the shear field is using GFRP (glass fiber reinforced polymer) with U wrapping one layer. Based on the analysis according to ACI 318-1995 value of girder shear capacity increased by 53.34% after reinforced using GFRP SEH51A.

Keywords: *Shear Cracks, Girder Strengthening, FRP (fiber reinforced polymer), GFRP (glass fiber reinforced polymer) SEH51A, Melelleng Bridge.*

^{1),2)} Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, 90245

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin 90245

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4	Manfaat Penelitian	3
1.5	Ruang Lingkup	4
1.6	Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Tinjauan Umum	6
2.2	Beton Bertulang	7
2.2.1	Bahan Penyusun Beton	8
2.2.2	Baja Tulangan	8
2.2.3	Kompatibilitas Antara Beton dan Baja	9
2.3	Perilaku keruntuhan Balok Beton Bertulang	9

2.3.1. Jenis Pola retak.....	11
2.3.2. Jenis Pola Keruntuhan.....	11
2.4. Geser pada Balok Beton Bertulang.....	13
2.4.1 Retak Geser dari balok beton bertulang	14
2.4.2 Tulangan Geser atau sengkang.....	18
2.4.3 Kekuatan Geser Beton Bertulang.....	18
2.5 <i>Fiber Reinforced Polymer</i> (FRP).....	19
2.5.1 Serat (Fiber).....	20
2.5.2 <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> (GFRP)	22
2.5.2.1 Unsur-unsur Penyusun GFRP	23
2.5.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Komposit GFRP.....	27
2.5.3 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan GFRP	28
2.6. Perekat (Adhesive).....	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.2. Alat dan bahan Penelitian	32
3.3. Peraturan yang Digunakan.....	34
3.4. Subyek Penelitian	34

3.5. Langkah-langkah Penelitian	35
3.6. Kerangka Prosedur Penelitian.....	38

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Data-data yang Diperoleh dari Lapangan	39
4.2. Analisa Pola Retak Jembatan Malelleng	40
4.3. Analisa Kapasitas Geser Balok Girder Jembatan Malelleng sebelum dan setelah diperkuat dengan GFRP SEH51A	41
4.4. Model Perkuatan Struktur yang Dibutuhkan Girder Jembatan Malelleng.....	45
4.5. Prosedur Pelaksanaan Perbaikan Struktur dengan FRP.....	48
4.6. Gambaran Perkuatan Jembatan Malelleng	53

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	54
5.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Fiber	17
Tabel 2.2. Karakteristik GFRP	19
Tabel 4.1. Komponen yang diperhitungkan dari GFRP	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kedudukan batang-batang tulangan dalam balok beton bertulang	8
Gambar 2.2	Kurva tegangan-regangan umum beton	10
Gambar 2.3	Pola keruntuhan balok (<i>sumber : Dr.Edward G Nawy, P.E 1998</i>).....	13
Gambar 2.4	Retak geser dan lentur pada balok	14
Gambar 2.5	Elemen pada balok	15
Gambar 2.6	Gaya geser di sekitar elemen	16
Gambar 2.7	Resultan R dan retak geser.....	17
Gambar 2.5	Diagram tegangan regangan penampang beton bertulang dengan kekuatan FRP.....	17
Gambar 3.1	Peta Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 3.2	Glass Fiber Reinforced Poymer	29
Gambar 3.3	Tyfo S component A.....	29
Gambar 3.4	Tyfo S component B	30
Gambar 3.5	Epoxy Resin.....	30
Gambar 3.6	Hardener for Epoxy	30
Gambar 3.7	Wacker Silicones	31
Gambar 3.8	Kondisi Jembatan Maleleng.....	32
Gambar 4.1	Girder Jembatan Maleleng.....	36
Gambar 4.2	Foto pola retak geser girder jembatan Maleleng	37
Gambar 4.3	Detail Pola Retak Girder Jembatan Maleleng.....	37

Gambar 4.4	Penampang girder jembatan Maleleng	38
Gambar 4.5	Proses persiapan permukaan beton	45
Gambar 4.6	Proses Pencampuran tyfo epoxy	46
Gambar 4.7	Proses Priming permukaan beton	46
Gambar 4.8	Proses Saturasi Lembaran FRP	47
Gambar 4.9	Proses wrapping lembaran FRP	47
Gambar 4.10	Balok Girder Jembatan malelleng yang diperkuat SEH51A	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton bertulang merupakan material yang banyak digunakan untuk membuat struktur bangunan seperti jembatan. Pengetahuan tentang perilaku beton sangat penting untuk menghindari terjadinya kesalahan struktural pada beton ataupun dalam perbaikan atau perkuatan struktur yang mengalami kerusakan dan kesalahan desain. Misalnya yang terjadi pada jembatan Malelleng di kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan dimana balok pada pinggir jembatan mengalami retak pada tumpuan balok atau daerah geser. Kasus pada jembatan tersebut sangat mungkin terjadi retak yang berlanjut pada keruntuhan jembatan jikaantisipasi tidak segera dilakukan pada balok. Untuk mengantisipasi terjadinya keruntuhan pada balok tersebut maka perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan struktur.

Peningkatan kekuatan struktur pada infrastruktur teknik sipil telah menjadi sebuah isu yang penting dewasa ini. Kehancuran pelat jembatan, balok-balok, kolom, gedung dan lain-lain umumnya disebabkan karena umur, lingkungan yang mempengaruhi penurunan kekuatan struktur, desain awal yang lemah atau kurang, kelemahan perawatan, dan kejadian-kejadian alam seperti gempa. Oleh karena itu perkuatan struktur akan menjadi salah satu jawaban dari keinginan untuk menjadikan struktur lebih kuat dan memenuhi persyaratan keamanan serta kekuatan.

Pada saat ini telah banyak berkembang metode perbaikan dan perkuatan struktur salah satunya dengan menggunakan lembaran FRP (*Fibre Reinforced Polymer*). Sistem perkuatan FRP pada beton dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan beton dengan menggunakan perekat epoxy. *Fibre Reinforced Polymer* (FRP) merupakan bahan yang ringan, kuat dan tahan terhadap korosi. FRP cukup mudah diaplikasikan pada beton bertulang dan terbukti ekonomis digunakan sebagai material untuk memperbaiki dan meningkatkan ketahanan struktur balok. Secara umum, bahan serat yang digunakan pada FRP ada 3 jenis serat yaitu carbon, aramid dan glass. Sebagai perkuatan geser balok lembaran FRP dapat ditempelkan pada sisi balok.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan kemampuan FRP untuk meningkatkan kapasitas balok yang mengalami kegagalan pada daerah lentur (Haeril A., dkk. 2013). Berdasarkan pertimbangan tersebut maka penelitian ini diarahkan pada penggunaan GFRP yang akan diaplikasikan pada balok yang mengalami kegagalan geser nantinya dapat dijadikan sebagai alternatif informasi kedepannya dalam kasus yang sama.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka beberapa permasalahan yang dirumuskan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisis pola keretakan yang terjadi pada balok akibat kegagalan struktur.

2. Bagaimana pengaruh kekuatan balok yang mengalami retak pada bidang geser yang kemudian diperkuat dengan pemasangan lembaran FRP.
3. Bagaimana peningkatan kapasitas geser pada balok hubungannya dengan penggunaan lembaran FRP.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1. Maksud penelitian :

Adapun maksud dari penelitian ini adalah dalam rangka penyelesaian program studi Strata 1 pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.3.2. Tujuan penelitian

Tujuan yang diharapkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengidentifikasi pola retak yang terjadi pada balok girder jembatan Maleleng Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan.
2. Menentukan model perkuatan struktur yang dibutuhkan oleh balok girder setelah menganalisa pola retak pada balok.
3. Menganalisa peningkatan kekuatan struktur yang terjadi pada balok retak pada bidang geser di jembatan Maleleng Kabupaten Pangkep.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai

berikut :

1. Dapat meningkatkan kekuatan struktur pada Jembatan Malelleng Kabupaten Pangkep sehingga dapat terus digunakan sebagai jalur poros Makassar-Pare.
2. Memberikan informasi mengenai metode pemasangan lembaran FRP pada balok yang mengalami keretakan geser.
3. Memberikan informasi kapasitas geser pada balok beton yang diberi perkuatan lembaran FRP.

1.5. Ruang Lingkup

Untuk mencapai tujuan diatas, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut :

- a. Perhitungan data struktur perkuatan diambil berdasarkan data-data dari gambar kerja dan pengamatan di lapangan. Asumsi dilakukan untuk data yang kurang.
- b. Penelitian ini khusus hanya meninjau kegagalan geser yang terjadi balok, yakni pada balok girder jembatan Malelleng Kabupaten Pangkep.
- c. Peningkatan nilai kapasitas geser pada balok setelah diperkuat GFRP diperoleh dari hasil analisis yang mengacu pada ACI 318-99 dan ACI Committee Report 440 dengan ketentuan kegagalan akibat retaknya (*fracture mekanisme*) FRP.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, pokok bahasan dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atas prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data-data hasil penelitian di laboratorium, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Menyajikan kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Aplikasi material FRP sebagai fungsi perbaikan dan perkuatan struktur beton yang sudah ada telah berkembang pesat pada saat ini. Teknik perkuatan seperti ini dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti plat baja external. Fungsi perkuatan dengan sistim komposit FRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya. Daya tahan FRP yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif dimana baja akan mudah berkarat. Penggunaan FRP lebih populer mengingat banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh seperti bobot unit yang kecil, mudah diaplikasikan dan ditangani, biaya instalasi dan pemeliharaan yang rendah. Kerugian yang paling prinsip penggunaan FRP sebagai sistim perkuatan adalah harga material yang relatif lebih mahal. Pada situasi tertentu, bagaimanapun, FRP memberikan jalan keluar yang paling ekonomis dalam masalah perkuatan karena secara dramatis dapat menekan biaya tenaga kerja.

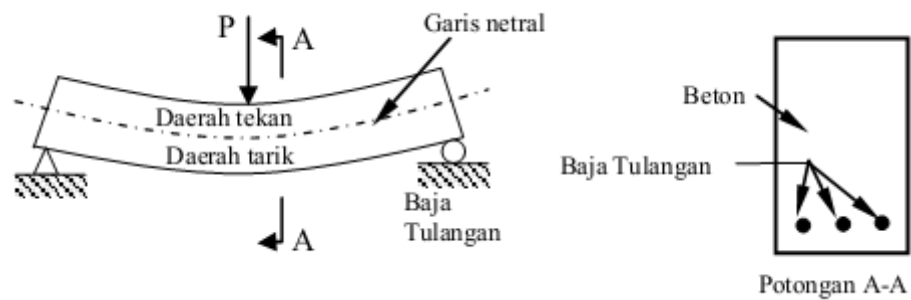
FRP dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang, lentur pelat, desak, geser dan lentur kolom. FRP dalam bentuk lembaran, plat atau batangan dapat dipasang pada permukaan balok atau plat yang mengalami peregang sebagai perkuatan lentur. Sebagai perkuatan geser balok, lembaran FRP dapat direkatkan pada sisi balok. Penggunaan pada

kolom, lembaran FRP atau pelapisan dapat ditempatkan pada bagian luar kolom untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan.

2.2 Beton bertulang

Material konstruksi beton bertulang mempunyai sifat yang unik dibandingkan dengan material lain seperti kayu, baja, aluminium atau plastik karena beton bertulang adalah material konstruksi yang menggunakan dua jenis bahan yang berbeda secara bersamaan. Beton bertulang adalah merupakan gabungan yang logis dari dua jenis bahan: beton polos, yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi mempunyai kekuatan tarik yang rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan demikian prinsip-prinsip yang mengatur perencanaan struktur dari beton bertulang dalam beberapa hal berbeda dengan prinsip-prinsip yang mengatur perencanaan struktur dari bahan yang terdiri dari satu macam saja.

Gambar 2.1 memperlihatkan kekuatan balok yang secara nyata dapat ditingkatkan dengan menambahkan batangan-batangan baja di daerah tarik. Baja tulangan yang mampu menerima tekan dan tarik juga dimanfaatkan untuk menyediakan sebagian dari daya dukung kolom beton dan kadang-kadang di dalam daerah tekan balok.



Gambar 2.1 Kedudukan batang-batang tulangan dalam balok beton Bertulang

2.2.1 Baja Tulangan

Tulangan yang digunakan pada struktur beton terdapat dalam bentuk batang atau anyaman kawat yang dilas (welded wire fabric). Dalam penelitian ini, tulangan yang digunakan adalah yang berbentuk batang. Batang tulangan mengacu pada tulangan polos (plain bar) atau tulangan ulir (deformed bar). Tulangan ulir merupakan baja tulangan yang diberi ulir melalui proses rol pada permukaannya untuk mendapatkan ikatan yang lebih baik antara beton dan tulangannya.

2.2.2 Kompatibilitas Antara Beton dan Baja

Beton dan tulangan baja bekerja sama dengan baik dalam struktur beton bertulang. Kelebihan masing-masing material tampaknya saling menutupi kelemahannya masing-masing. Sebagai contoh, kelemahan utama beton adalah kuat tariknya yang rendah, tetapi kuat tarik adalah kelebihan utama pada baja. Tulangan baja memiliki kuat tarik hampir 100 kali lebih besar daripada kuat tarik beton biasa.

Kedua bahan tersebut saling berikatan dengan sangat baik sehingga tidak

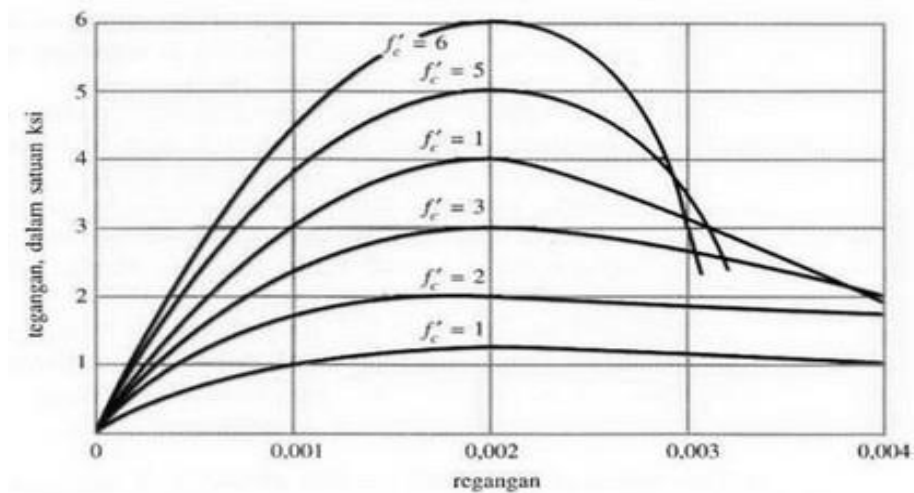
terjadi gelincir diantara keduanya, dan oleh karenanya dapat bekerja sama sebagai suatu kesatuan dalam menahan gaya-gaya yang terjadi. Ikatan yang baik ini dapat terjadi karena adhesi kimia yang baik antara kedua bahan, kekasaran alami yang dimiliki tulangan, dan ulir berjarak dekat yang ada pada permukaan tulangan.

Tulangan baja rawan terhadap karat, tetapi beton yang membungkusnya memberikan perlindungan yang bagus terhadap karat. Kekuatan dari baja yang akan menurun drastis apabila terkena suhu tinggi dapat terlindungi oleh beton yang membungkusnya karena beton memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi. Terakhir, beton dan tulangan tetap bekerja sama dengan baik terhadap perubahan temperatur karena koefisien muai-termal beton dan baja yang hampir sama. Untuk beton koefisiennya berkisar antara 0,000004 sampai 0.000007 per satuan panjang per derajat Fahrenheit, sedangkan koefisien baja 0.0000065.

2.3 Perilaku Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Beton bertulang terdiri dari dua material yaitu beton dan baja dengan sifatnya berbeda. Jika baja dianggap sebagai material homogen yang propertinya terdefinisi jelas maka sebaliknya dengan material beton yang merupakan material heterogen dari semen, air, dan agregat yang property mekaniknya bervariasi dan tidak terdefinisi dengan pasti. Hanya untuk memudahkan dalam analisa saja maka umumnya dianggap sebagai material homogen dalam konteks makro. Perilaku keruntuhan yang dominan pada struktur balok pada umumnya adalah lentur, tentu saja itu akan terjadi jika rasio bentang geser (a) dan tinggi efektif balok (d) cukup besar. Jika rasio a/d kecil maka digolongkan sebagai balok tinggi (deep beam), keruntuhan geser dominan. Perilaku keruntuhan dapat dibagi dalam tiga tahapan,

yaitu : (1) elastis penuh (belum retak), (2) tahapan mulai terjadi retak-retak dan (3) tahapan plastis (leleh pada baja atau beton pecah). Perilaku keruntuhan balok beton bertulang diatas dua tumpuan dapat di gambarkan dalam bentuk kurva beban-lendutan seperti pada Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan umum beton

Respon non-linear disebabkan dua hal utama yaitu: keretakan beton di daerah Tarik dan tulangan mengalami leleh atau beton pecah(*crushing*) pada daerah desak. Selain itu juga disebabkan perilaku lain yang terkait, misalnya *bond-slip* antara tulangan baja dan beton di sekitarnya, aksi penguncian agregat pada daerah retak dan akhirnya aksi angkur (*dowel action*) dari tulangan yang melintas di sekitar retak. Perilaku sebagai fungsi waktu misalnya *creep*, *shrinkage* dan variasi temperature juga menyumbang perilaku non-linear. Kecuali itu, hubungan tegangan regangan beton tidak hanya bersifat non-linear, tetapi juga berbeda antara beban tekan dan tarik, sifat mekaniknya tergantung dari umur waktu dibebani, kondisi lingkungan (suhu sekeliling dan kelembaban).

2.3.1 Jenis Pola Retak

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok (Gilbert,1990), yaitu :

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok.
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada badan balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.
3. Retak geser badan (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tahanan aksial sangat kecil.

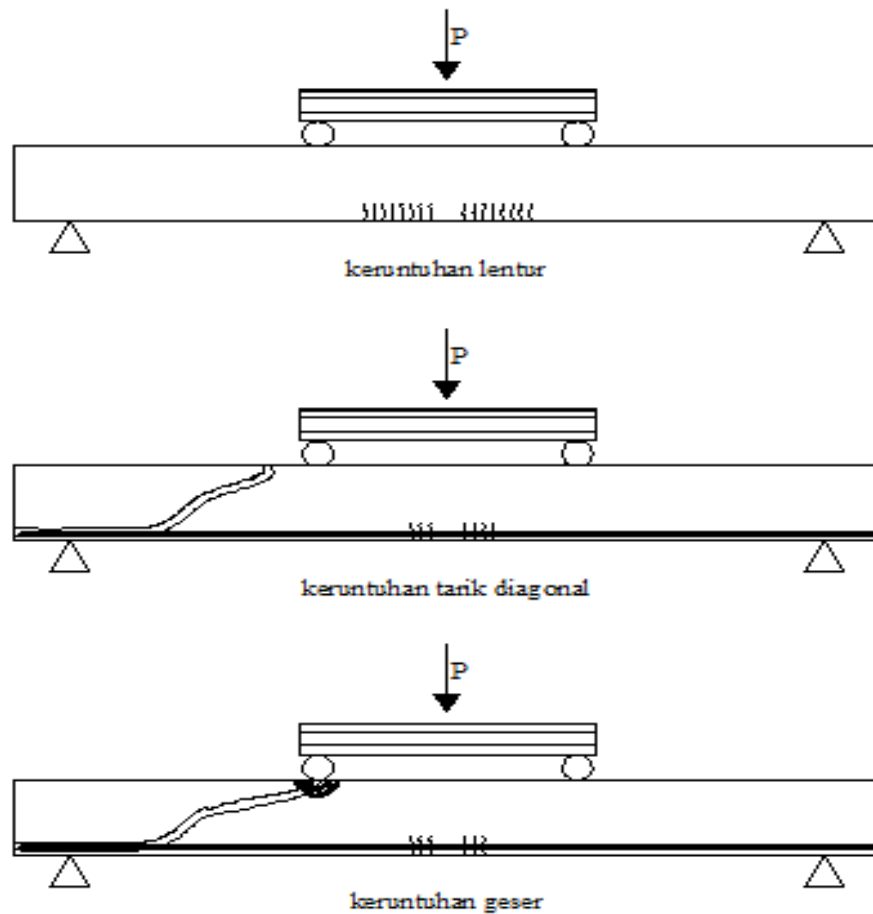
2.3.2 Jenis Pola Keruntuhan

Tipe keruntuhan balok sangat tergantung pada kelangsingan balok. Kelangsingan balok dinyatakan dengan a/d untuk beban terpusat, dimana a adalah panjang geser (*shear span*). Keruntuhan suatu balok dapat terjadi menurut salah satu dari tiga ragam keruntuhan ini, (Nawy,1996) :

1. Keruntuhan lentur (*flexural failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok dengan harga $a/d > 5,5$ dimana arah retak vertikalnya ditengah bentang sepanjang kira-kira $1/3$ bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk di tengah bentang pada tingkat beban $\pm 50\%$ dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban, retak menyebar di daerah tengah bentang, retak awal mulai melebar dan merambat kearah garis

netral dan lendutan meningkat. Bila penulangan memanjang balok *under-reinforced* , keruntuhan terjadi secara daktil yang diawali oleh lelehnya tulangan lentur.

2. Keruntuhan Tarik diagonal (*diagonal tension failure*) , yaitu keruntuhan yang terjadi setelah keretakan miring tanpa peringatan yang cukup, yang terjadi karena kuat Tarik diagonal lebih kecil dari kuat lentur. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan resiko a/d sekitar 2,5-5,5. Keretakan dimulai dengan terbentuknya retak lentur vertikal di tengah bentang, yang akan menyebar akibat meningkatnya beban ke daerah dengan momen lebih kecil dan gaya geser besar, sehingga terjadi keretakan lentur geser. Dengan meningkatnya gaya geser, retak akan melebar dan merambat sampai ke sisi balok runtuh. Keruntuhan bersifat getas dan lendutan yang terjadi relative kecil.
3. Keruntuhan geser tekan (*shear compression failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi setelah retak lentur geser terjadi, kemudian retak merambat ke belakang sepanjang tulangan lentur. Keretakan ini akan melepaskan lekatan tulangan memanjang ,dan balok akan berkelakuan seperti busur dua sendi, yang diakhiri dengan hancurnya beton tekan di sisi atas balok. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio a/d antara 1,0- 2,5 , keruntuhan relative kurang getas karena terjadi redistribusi tegangan, tetapi secara umum masih tergolong keruntuhan getas dengan peringatan batas.



Gambar 2.3 Pola keruntuhan balok (*sumber : Dr.Edward G Nawy, P.E 1998*)

2.4 Geser Pada Balok Beton Bertulang

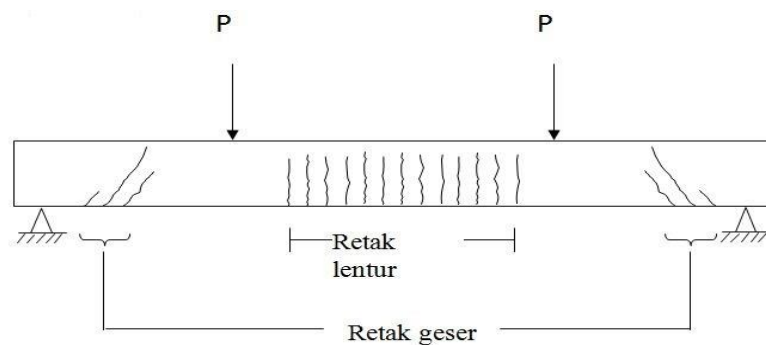
Suatu perencanaan struktur balok beton bertulang bertujuan untuk menghasilkan batang daktil yang dapat memberikan peringatan apabila keruntuhan terjadi. Untuk mencapai tujuan ini, maka nilai geser rencana memiliki faktor keamanan yang lebih besar terhadap keruntuhan geser dibandingkan dengan yang diberikan untuk keruntuhan lentur.

Keruntuhan balok beton bertulang dalam geser akan terjadi secara tiba-tiba dengan peringatan kecil, atau tanpa peringatan sebelumnya. Oleh karena itu, balok

direncanakan runtuh dalam lentur akibat beban yang lebih kecil dari beban yang menyebabkan keruntuhan geser. Batang tersebut dapat retak dan melendut cukup besar jika mendapat beban lebih, tetapi tidak akan patah seperti halnya jika terjadi keruntuhan geser.

2.4.1 Retak Geser Dari Balok Beton Bertulang

Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi-rol), kemudian di atas balok diberi beban cukup berat, balok tersebut dapat terjadi 2 jenis retakan, yaitu retak yang arahnya vertikal dan retakan yang arahnya miring/ diagonal. Retak geser dari suatu beton bertulang berupa retak dengan arah diagonal dan terletak pada daerah tumpuan atau bidang geser. Retak diagonal ini dapat terjadi pada balok baik sebagai kelanjutan dari retak lentur ataupun sebagai retak independen. Gambar 2.4 Menunjukkan retak geser yang terjadi pada suatu balok:

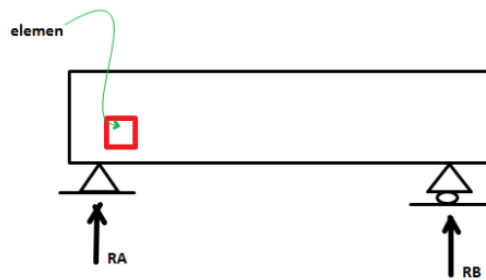


Gambar 2.4 Retak geser dan lentur pada balok

Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan (benteng tengah) balok, karena

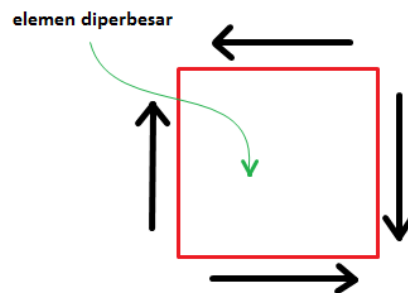
pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan gaya geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser/gaya lintang paling besar.

Untuk memberikan gambaran cukup jelas tentang bekerjanya gaya geser/gaya lintang pada balok, diambil sebuah elemen kecil dari beton yang berada di dekat ujung balok, kemudian elemen tersebut diperbesar sehingga dapat dilukiskan gaya-gaya geser di sekitar elemen beton seperti gambar di bawah.



Gambar 2.5 Elemen pada balok

Pada gambar 2.5 , akibat berat sendiri dan beban-beban di atas balok, maka pada tumpuan kiri maupun kanan timbul reaksi (R_A dan R_B) yang arahnya ke atas, sehingga pada tumpuan kiri terjadi gaya lintang/geser sebesar R_A ke atas.



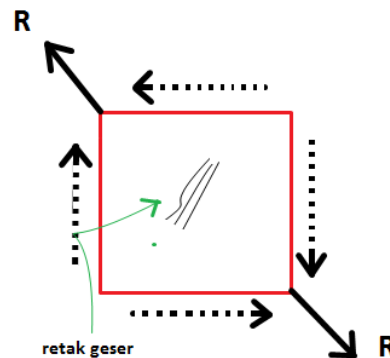
Gambar 2.6. Gaya geser di sekitar elemen

Gaya lintang RA ini berakibat pada elemen beton (yang diperbesar) pada gambar 2.6 sebagai berikut :

1. Arah reaksi RA ke atas, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kiri terjadi gaya geser dengan arah ke atas pula.
2. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil, berarti terjadi keseimbangan gaya vertikal pada elemen beton, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kanan timbul gaya geser ke bawah. Kedua gaya geser pada kedua permukaan bidang (bidang kiri dan kanan) ini besarnya sama.
3. Akibat gaya geser ke atas pada kedua permukaan bidang kiri dan gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan, maka pada elemen beton timbul momen yang arahnya sesuai dengan arah putaran jarum jam.
4. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil, berarti terjadi keseimbangan momen pada elemen beton, sehingga momen yang ada harus

dilawan oleh momen lain yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

5. Momen lawan yang arahnya berlawanan dengan arah jarum putaran jam pada item 4) dapat terjadi, jika ada permukaan bidang elemen sebelah atas ada gaya geser dengan arah kiri, dan pada permukaan bidang elemen sebelah bawah ada gaya geser dengan arah ke kanan. Kedua gaya geser terakhir ini besarnya juga sama.



Gambar 2.7 Resultan R dan retak geser

Pada gambar 2.7 , terjadi keadaan berikut :

1. Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas, membentuk resultante R yang arahnya miring ke kiri-atas.
2. Gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan dan gaya geser ke kanan pada permukaan bidang bawah, juga membentuk resultante R yang arahnya miring ke kanan-bawah.

3. Kedua resultant yang terjadi dari item 1 dan item 2 tersebut sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik-menarik.
4. Jika elemen beton tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultant R, maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut 45 derajat.

2.4.2 Tulangan Geser atau Sengkang

Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser. Retak geser terletak secara diagonal pada badan balok sehingga perletakan tulangan geser yang paling efektif adalah tulangan geser yang dipasang miring tegak lurus dengan arah retak, sehingga tulangan menahan gaya tarik saja dari retak tersebut. Meskipun pemasangan tulangan dengan cara ini lebih efektif, tetapi akan memakan biaya yang lebih besar dan juga proses pemasangan yang lebih sulit, sehingga pemasangan tulangan geser yang paling banyak digunakan adalah secara vertikal.

2.4.3 Kekuatan Geser Beton Bertulang

Kekuatan geser pada balok beton bertulang diberikan oleh kekuatan geser beton dan tulangan gesernya, sehingga dapat ditentukan dengan rumus:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (1)$$

Kekuatan geser batang yang diijinkan ϕV_n , sama dengan ϕV_c ditambah ϕV_s (dimana nilai ϕ adalah 0.85) yang harus sama dengan atau lebih besar dari gaya geser maksimum V_u :

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s \dots\dots\dots (2)$$

Kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat ditentukan dengan rumus:

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \dots\dots\dots (3)$$

Kekuatan geser yang diberikan oleh tulangan geser dihitung dengan rumus:

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s} \dots\dots\dots (4)$$

2.5 *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

Pengembangan material komposit *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) telah membuka peluang baru untuk keperluan perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang. Ada 3 jenis FRP yang dibedakan berdasarkan serat penyusunnya, yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (serat karbon), *Glass Fiber Reinforced Polymer* (serat gelas), dan *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (serat aramid).

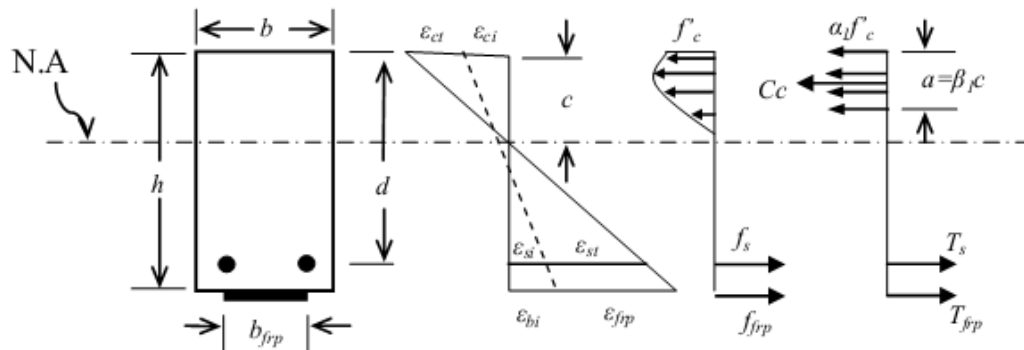
Material komposit dibentuk oleh dua material atau lebih yang mempunyai sifat alami dan mikroskopik yang berbeda. Pada fiber komposit, dua material itu adalah serat mutu tinggi dan resin. Sifat mekanik komposit adalah yang paling bertanggung jawab pada jenis ini, tergantung dari arah dan jumlah serat. Sedangkan fungsi resin adalah untuk mentransfer tegangan dari dan ke serat.

Ketika FRP diaplikasikan untuk perkuatan ataupun perbaikan pada balok beton bertulang ada beberapa mode kegagalan yang dapat terjadi, yaitu:

- 1) Rusaknya FRP setelah tulangan tarik meleleh.
- 2) Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh.
- 3) Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh.
- 4) Lepasnya ikatan antara FRP dan balok beton (*debonding*).

5) Putusnya FRP (FRP *failure*).

Gambar 2.5 menunjukkan diagram distribusi tegangan dan regangan penampang beton bertulang dengan perkuatan FRP.



Gambar 2.9 Diagram tegangan regangan penampang beton bertulang dengan perkuatan FRP

2.5.1 Serat (*Fiber*)

Secara spesifik, material fiber yang diaplikasikan untuk perkuatan dan perbaikan beton bertulang dapat berupa serat kaca, karbon, dan aramid. Masing-masing mempunyai kemiripan antara yang satu dengan yang lainnya. Nilai karakteristik masing-masing fiber diberikan pada Tabel 2.1. Nilai elastisitasnya bersifat linear untuk semua jenis serat, tetapi nilai lelehnya tidak signifikan.

Fiber diproduksi berbentuk:

- 1) Lembaran, yang merupakan fiber yang umum digunakan. Pada umumnya fiber dalam bentuk lembaran mempunyai arah serat sembarang meskipun ada yang mempunyai arah serat biaxial dan triaxial, di atas lapisan bagian belakang yang dapat dilepas atau juga berbentuk anyaman.

2) Fiber yang sebelumnya dicairkan dengan resin (“*pre-preg material*”), dimana perawatannya dilakukan di site dengan pemanasan atau dengan cara lain.

Fiber produksi pabrik kemungkinan mempunyai perbandingan kekuatan searah serat 70% dan ke arah melintang serat sebesar 30%. Fiber mempunyai ketebalan minimum 0,1 mm dengan lebar 500 mm atau lebih.

Tabel 2.1 Karakteristik Fiber

Fiber	Tensile Strength (N/mm ²)	Modulus of Elasticity (kN/mm)	Elongation (%)	Specific Density
Carbon High Strength	4300 - 4900	230 - 240	1.9 - 2.1	1.8
Carbon High Module	2740 - 5490	294 - 329	0.7 - 1.9	1.78 - 1.81
Carbon Ultra High Module	2600 - 4020	510 - 610	0.4 - 0.8	1.91 - 2.12
Aramid	3200 - 3600	424 - 430	2.4	1.44
Glass	2400 - 3500	70 - 85	3.5 - 4.7	2.6

Sumber : Simonelli (2005)

Pemilihan jenis fiber untuk perkuatan ataupun perbaikan suatu struktur tergantung pada beberapa faktor, seperti: tipe struktur, biaya yang tersedia, beban yang direncanakan, kondisi lingkungan, dan lain-lain.

2.5.2 Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

GFRP merupakan jenis FRP yang menggunakan bahan dari serat kaca. GFRP terbuat dari kaca cair yang dipanaskan pada suhu sekitar 2300°F dan

dipintal dengan bantuan *Bushing Platinumrhodium* pada kecepatan 200 mph. Material ini memiliki cukup banyak keuntungan yang dapat diberikan, antara lain merupakan material yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik tinggi, superior dalam daktilitas, lebih ringan sehingga tidak memerlukan alat berat untuk dibawa ke lokasi, dan lebih murah dibanding FRP dengan bahan lain. Karakteristik dari material GFRP dapat dilihat dari Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Karakteristik GFRP

Keadaan Lepas		Keadaan Komposit		
Sifat Material	Nilai Tes	Sifat Material	Nilai Test	
			Test	Desain
Tegangan tarik	3,24 GPa	Tegangan Ultimit	575 MPa	460 MPa
Modulus tarik	72,4 GPa	Regangan	2,2 %	1,76 %
Regangan maks.	0,045	Modulus tarik	26,1 GPa	20,9 GPa
Kerapatan	2,55 gr/cm ³	Teg. Tarik ultimat	25,8 GPa	20,7 Gpa
Tebal Fiber	0,366 mm	Tebal komposit	1,3 mm	1,3 mm

Sumber : Fiyfo.Co LLC

Beberapa jenis serat kaca yang tersedia di pasaran, antara lain:

1. *E-Glass*, yang memiliki kandungan alkali yang lebih rendah dan merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Keuntungannya yaitu memiliki sifat mekanis yang tinggi.
2. *Z-Glass*, digunakan untuk mortar semen dan beton karena memiliki resistensi yang tinggi terhadap alkali.
3. *A-Glass* yang memiliki kandungan alkali tinggi.
4. *C-Glass*, yang digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan korosi yang besar untuk asam.
5. *S-Glass* atau *R-Glass*, yang diproduksi untuk ekstra kekuatan dan modulus

yang tinggi.

Sebagai material untuk perkuatan eksternal, GFRP bentuk lembaran dapat digunakan untuk:

1. Perbaikan balok dan slab beton yang rusak, dengan asumsi bahwa debonding antara FRP dan beton tidak menyebabkan kegagalan elemen struktur.
2. Mengatasi penambahan lebar retakan akibat bertambahnya beban layan.
3. Melindungi tulangan dari korosi karena adanya retakan.
4. Meningkatkan kekuatan lentur akibat peningkatan beban.
5. Merencanakan beton baru yang memiliki daktilitas tinggi.
6. Perbaikan struktur akibat kesalahan desain atau konstruksi.
7. Meningkatkan kemampuan geser beton.
8. Meningkatkan kekuatan pengekangan kolom beton.
9. Perbaikan struktur lama.

2.5.2.1 Unsur-unsur Penyusun GFRP

Unsur utama penyusun komposit GFRP adalah matriks dan serat. Bahan-bahan pendukung pembuatan komposit meliputi katalis, akselerator, gel, coat, dan pewarna. Bahan tambahan tersebut memiliki fungsi yang sangat penting untuk menentukan kualitas suatu produk komposit. Karena material komposit terdiri dari penggabungan unsur-unsur utama yang berbeda, maka muncul daerah perbatasan antara serat dan matriks.

a. Bahan Serat

Sifat-sifat mekanik dari komposit sangat dipengaruhi oleh serat dan

orientasinya, dimana kandungan serat yang tinggi akan menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi pula. Di sisi lain meningkatnya kandungan resin berarti akan meningkatkan ketahanan produk cetakannya terhadap serangan kimia dan cuaca. Oleh karena itu perbandingan antara serat dan resin memegang peranan paling penting untuk menentukan sifat-sifat mekanisnya.

Sistem penguat dalam material komposit serat bekerja dengan mekanisme sebagai berikut: Material berserat akan memanfaatkan aliran plastis dari bahan matriks (yang memiliki modulus rendah) yang sedang dikenai tegangan, untuk mentransferkan beban yang ada kepada serat-seratnya (yang kekuatannya jauh lebih besar). Hasilnya adalah bahan yang memiliki kekuatan dan modulus tinggi. Tujuan menggabungkan keduanya adalah untuk menghasilkan material dan fase dimana fase primernya (serat) disebar secara merata dan diikat oleh fase sekundernya (matrik). Dengan demikian konstituen utama yang mempengaruhi kemampuan komposit adalah serat sebagai penguat, matrik, dan *interface* antara serat dengan matrik.

Diameter serat juga berperan penting dalam memaksimalkan tegangan. Makin kecil diameternya, akan memberikan luas permukaan per satuan berat yang lebih besar, sehingga akan membantu transfer tegangan tersebut. Semakin kecil diameter seratnya maka semakin tinggi kekuatan bahan serat tersebut. Hal ini dikarenakan cacat yang timbul semakin sedikit.

Komposit dengan penguat serat sangat efektif, karena bahan dalam bentuk serat jauh lebih kuat dan kaku dibandingkan dengan bahan yang sama dalam bentuk padat (*bulk*). Sebagai contoh, gelas padat akan patah pada tegangan kurang dari 10.000 psi, sedangkan serat gelas akan patah pada tegangan antara 400.000-700.000 psi.

Serat kaca terbuat dari butiran silika (SiO_2). Molekul silikon dioksida mempunyai konfigurasi tetrahedral, dimana satu ion silikon mengikat empat ion oksigen. Jaringan dari silika tetrahedral ini adalah dasar dari terbentuknya serat gelas.

b. Bahan Matrik

Syarat utama yang harus dimiliki oleh bahan matrik adalah bahan matrik tersebut harus bisa meneruskan beban. Oleh karena itu serat harus bisa melekat pada matrik secara *chemical bond* dan kompatibel antara serat dan matrik (tidak ada reaksi kimia yang mengganggu). Biasanya matrik yang dipilih adalah matrik yang memiliki ketahanan panas tinggi. Pada bahan komposit, matrik memiliki kegunaan sebagai berikut:

- i. Memegang dan mempertahankan serat tetap pada posisinya.
- ii. Pada saat diberi beban, matriks harus mampu mendistribusikan tegangan kepada serat.
- iii. Memberikan sifat tertentu, misalnya: keuletan, kekasaran, dan sifat elektrik.

Dalam proses pembuatan material komposit, matrik harus memiliki kemampuan meregang yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat. Apabila tidak demikian, maka material komposit tersebut akan patah pada bagian matriknya terlebih dahulu. Dan apabila hal itu dipenuhi, maka material komposit tersebut akan patah secara alami bersamaan antara serat dan matrik.

Berdasarkan bahan penyusunnya matrik terbagi atas matrik organik dan anorganik. Matrik organik adalah matrik yang terbuat dari bahan-bahan organik. Matrik ini banyak digunakan karena proses penggunaannya menjadi komposit cepat dan mudah serta dengan biaya yang rendah. Salah satu contoh matrik organik adalah resin polyester. Matrik anorganik adalah matrik yang terbentuk dari bahan logam yang pada umumnya memiliki berat dan kekuatan tinggi.

Berdasarkan karakteristik termalnya matrik dapat dibagi menjadi dua, yaitu matrik *thermosetting* dan matrik *thermoplastic*. Untuk material komposit FRP, digunakan matrik *thermosetting*. Ada dua macam matrik *thermosetting* yang sering digunakan saat ini, yaitu *epoxy* dan *polyester*.

2.5.2.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Komposit GFRP

a. Arah Serat Gelas

Kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh arah serat. Ada tiga jenis penguatan arah serat gelas yaitu penguatan satu dimensi, penguatan dua dimensi, dan penguatan tiga dimensi. Penguatan satu dimensi

memiliki kekuatan maksimum pada arah serat. Penguatan dua dimensi memiliki kekuatan yang berbeda pada tiap arah orientasi serat. Penguatan tiga dimensi adalah isotropic tetapi nilai penguatannya sangat kecil ($1/3$ dari nilai penguatan satu dimensi dan dua dimensi).

b. Jenis Serat Gelas

Pemilihan jenis serat gelas dapat mempengaruhi kekuatan komposit. Hal ini erat kaitannya dengan pola penguatan serat.

c. Jumlah Serat Gelas

Banyak sedikitnya jumlah serat yang terkandung dalam suatu bahan komposit sangat mempengaruhi kekuatannya. Komposit yang mengandung serat gelas hingga 80% dari beratnya akan memiliki kekuatan sekitar 4 kali lipat dibandingkan komposit dengan komposisi sebaliknya.

Jumlah maksimum serat gelas tergantung dari kemampuan matrik untuk mengikat serat. Apabila serat gelas terlalu banyak, akan mengakibatkan adanya serat gelas yang saling bersentuhan tanpa adanya matrik yang mengikat. Apabila salah satu serat putus, maka beban yang terjadi tidak akan dapat diteruskan ke serat yang lain secara sempurna. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan dini pada lapisan FRP.

2.5.3 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan GFRP

Berdasarkan persamaan yang diberikan oleh ACI 440, kapasitas geser pada balok beton bertulang yang diperkuat dengan FRP composite dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s + V_f \dots\dots\dots (5)$$

Khalifa, dkk (2000) menjelaskan faktor reduksi untuk kapasitas geser pada balok beton bertulang yang diberi perkuatan geser dengan FRP sebagai berikut:

$$V_n = 0,85 (V_c + V_s) + 0,7 V_f \dots\dots\dots (6)$$

Terdapat dua kemungkinan kegagalan atau kehancuran yang terjadi pada perkuatan geser yang disumbangkan FRP pada balok beton bertulang, yaitu kegagalan akibat retak atau patahnya FRP dan kegagalan akibat lepasnya rekatan FRP dengan balok beton bertulang. Untuk perencanaan perkuatan geser berdasarkan kegagalan akibat retaknya (*fracture mechanisme*) FRP, ACI Committee Report 440 memberikan persamaan:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \dots\dots\dots (7)$$

$$\epsilon_{fe} = \kappa_v \epsilon_{fu} \leq 0.004 \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

$$A_{fv} = 2n t_f w_f \dots\dots\dots (9)$$

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \dots\dots\dots (10)$$

Dari persamaan regangan efektif FRP (ϵ_{fe}), koefisien reduksi (κ_v) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \epsilon_{fu}} \dots\dots\dots (11)$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (12)$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} \text{ for } U \text{ wraps} \dots\dots\dots (13)$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} \text{ for 2 sides bonded} \dots\dots\dots (14)$$

$$L_e = \frac{23300}{(n_f t_f E_f)^{0.58}} \dots\dots\dots (15)$$

Untuk menentukan nilai desain dari kuat tarik FRP (f_{fu}), dan (ϵ_{fu}) maka nilai ultimatnya harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan C_E :

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \dots\dots\dots (16)$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^* \dots\dots\dots (17)$$

Untuk perencanaan kekuatan geser berdasarkan kegagalan akibatnya lepasnya rekatan FRP dengan balok beton bertulang, Kahlifa, kk (1998) memberikan persamaan:

$$V_f = \frac{2L_e W_f \tau_b W_{fe}}{s_f} \dots\dots\dots (18)$$

Kuat rekatan FRP dengan konstanta (k) adalah :

$$\tau_b = k E_f t_f \dots\dots\dots (19)$$

Kuat rekatan FRP terhadap beton:

$$\tau_b = k \left(f_c / 42 \right)^{2/3} E_f t_f \dots\dots\dots (20)$$

Pengaruh dari tipe pemasangan FRP terhadap lebar efektif rekatan FRP.

Untuk balok yang dibungkus dengan FRP:

$$W_{fe} = d_f \dots\dots\dots (21)$$

Untuk FRP yang dipasang dengan tipe U:

$$W_{fe} = d_f - L_e \dots\dots\dots (22)$$

Untuk FRP yang dipasang pada bagian samping:

$$W_{fe} = d_f - 2L_e \dots\dots\dots (23)$$

2.6 Perekat (*Adhesive*)

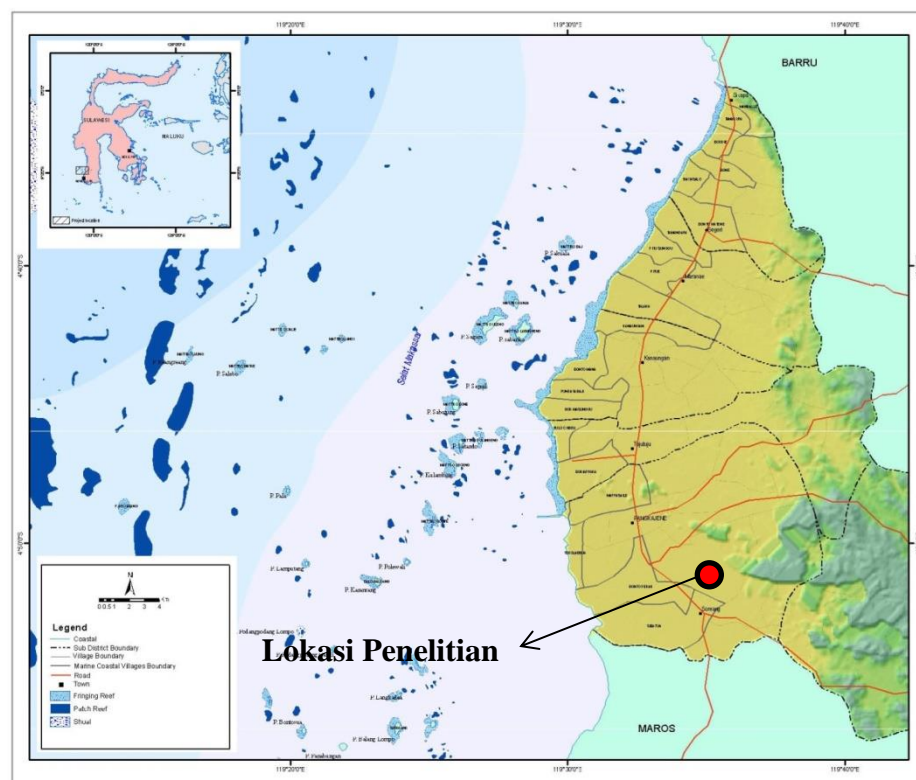
FRP direkatkan pada permukaan elemen struktur secara kimiawi dengan perekat. Perekatan secara kimiawi sangat praktis karena tidak menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan, lebih mudah dilaksanakan dibandingkan dengan perekat mekanis dan tidak menyebabkan kerusakan pada material dasar atau material kompositnya. Perekat yang paling cocok digunakan pada material komposit adalah perekat yang mempunyai bahan dasar epoxy resin. Perekat ini dibuat dari campuran dua komponen. Komponen utamanya adalah cairan organik yang diisikan kedalam kelompok epoxy, mengikat susunan satu atom oksigen dan dua atom karbon. Reaksi ini ditambahkan pada campuran untuk mendapatkan campuran akhir. Permukaan yang akan dilekatkan harus dipersiapkan untuk mendapatkan lekatan yang efektif. Permukaan harus bersih dan kering, bebas dari kontaminan seperti: oksida, oli, minyak dan debu.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Jembatan Maleleng Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan yang berjarak $\pm 60\text{Km}$ dari Kota Makassar. Waktu Penelitian dilakukan selama 2 (dua) bulan.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Gurinda
- Meteran
- Amplas
- Roll
- Ember
- Kaos tangan
- Kamera digital

Sedangkan Bahan yang digunakan :

- Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)



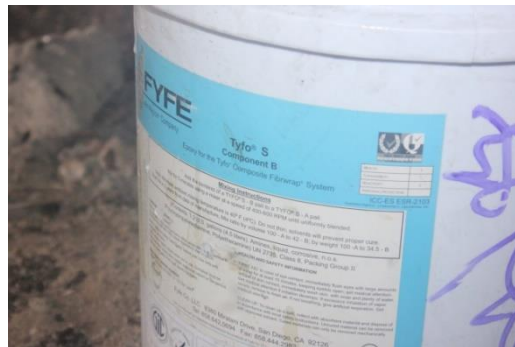
Gambar 3.2 Glass Fiber Reinforced Poymer

- TYFO S Component A



Gambar 3.3 Tyfo S component A

- TYFO S Component B



Gambar 3.4 Tyfo S component B

- Epoxy Resin



Gambar 3.5 Epoxy Resin

- Hardener For Epoxy Resin



Gambar 3.6 Hardener for Epoxy

- Wacker Silicones



Gambar 3.7 Wacker Silicones

3.3 Peraturan yang digunakan

Peraturan yang digunakan untuk analisa data pada penelitian ini adalah :

- a. ACI 318-99 untuk menghitung kapasitas geser balok sebelum diperkuat.
- b. ACI Committee Report 440 untuk menghitung pertambahan kapasitas geser balok setelah diperkuat dengan GFRP.

3.4 Subyek Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi subyek penelitian adalah Jembatan Maleleng, kabupaten Pangkep yang terletak pada ruas jalan Provinsi yang menghubungkan antara kota Makassar dengan kota Pare-Pare. Fungsi dari Jembatan ini yang sangat vital membuat jembatan selalu ramai dengan kendaraan dengan berat yang bervariasi. Hal ini membuat terjadinya kegagalan struktur yang terjadi pada jembatan. Namun bukan hanya beban dari kendaraan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur yang

terjadi hal-hal mengenai kesalahan desain dapat menjadi salah satu factor dari kasus ini.



Gambar 3.8 Kondisi Jembatan Maleleng

Untuk menunjang terus berlangsungnya aktifitas dari masyarakat yang menggunakan Jembatan maleleng sebagai jalur kendaraan serta menghindarkan masyarakat dari hal-hal yang tidak diinginkan terjadi maka pada kegagalan struktur tersebut harus dilakukan perkuatan struktur.

3.5 Langkah-langkah Penelitian

Guna mempermudah proses proses penelitian ini maka penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu : 1) tahapan persiapan ; 2) tahapan pengumpulan data ; 3) tahapan penilaian kondisi jembatan ; 4) tahapan analisis struktur kapasitas geser girder jembatan Maleleng; 5) pembuatan konsep analisi perbaikan; 6) tahapan pembahasan.

1. Tahapan Persiapan Penelitian

Meliputi kegiatan perumusan masalah, pengkajian teori dan persiapan peralatan-peralatan yang dibutuhkan di lapangan.

2. Tahapan pengumpulan data

Dalam tahapan ini meliputi kegiatan pengambilan data baik data primer maupun data sekunder.

a. Data primer,

Data primer diperoleh dari survey langsung di lokasi baik berupa data visual dan pengukuran di lapangan terhadap kondisi jembatan Maleleng.

b. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dari PT. FYFE FIBRWRAP INDONESIA yang dalam ini merupakan pelaksana dalam proses perkuatan jembatan Maleleng.

3. Tahapan penilaian kondisi jembatan

Pada tahapan ini dilakukan penilaian kondisi jembatan secara visual yakni mengamati retakan-retakan yang terjadi pada girder jembatan Maleleng.

4. Tahapan analisis struktur kapasitas geser balok girder jembatan Maleleng

Pada tahapan ini data yang telah diperoleh dianalisis, diolah sesuai dengan teori dan data yang diperoleh sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Analisis data yang dilakukan adalah kapasitas geser balok girder jembatan Maleleng. Hasil perhitungan kapasitas geser sebelum diperkuat kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan analisis setelah balok girder diperkuat dengan menggunakan GFRP, dengan demikian dapat diperoleh nilai persentase peningkatan kekuatan kapasitas geser balok girder Jembatan Maleleng.

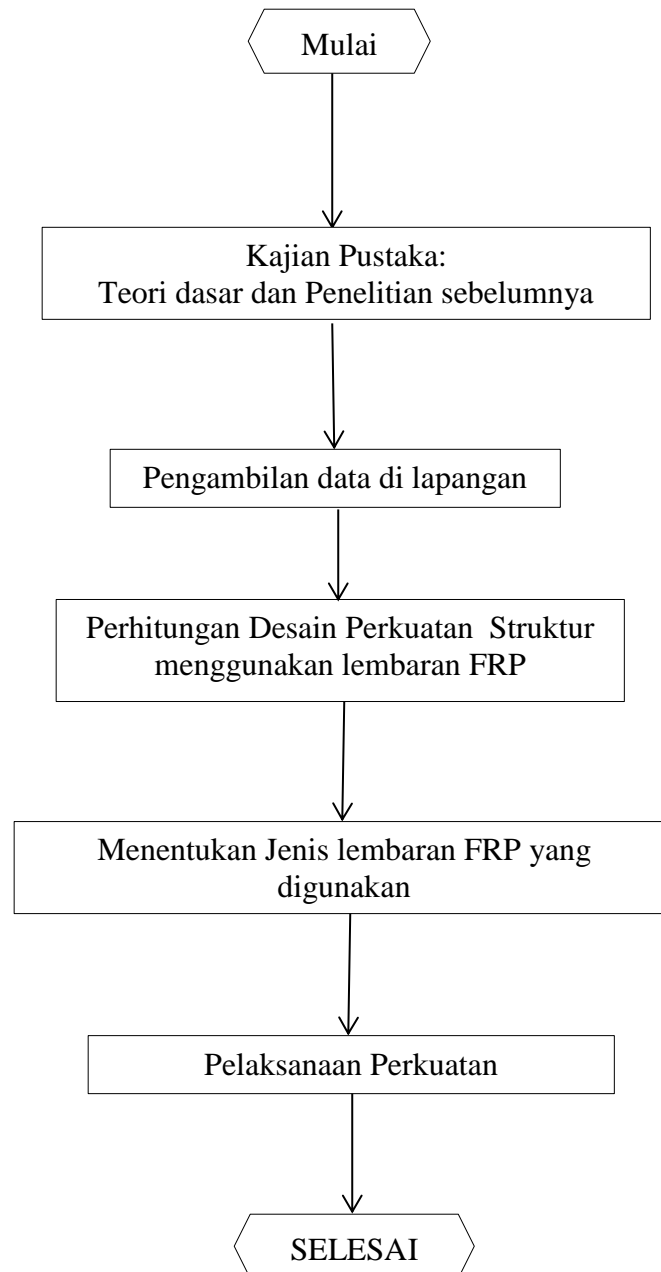
5. Pembuatan konsep analisi perbaikan

Berdasarkan hasil analisis struktur kapasitas geser balok girder Jembatan Maleleng yang telah dilakukan sebelumnya kemudian di susun konsep penanganan untuk perbaikan. Dalam hal ini dipilih metode perkuatan menggunakan lembaran GFRP.

6. Tahapan pembahasan

Pada tahapan ini dilakukan pembahasan terhadap data dan hasil perhitungan yang ada untuk kemudian dirumuskan dala sebuah kesimpulan.

3.6 Kerangka Prosedur Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

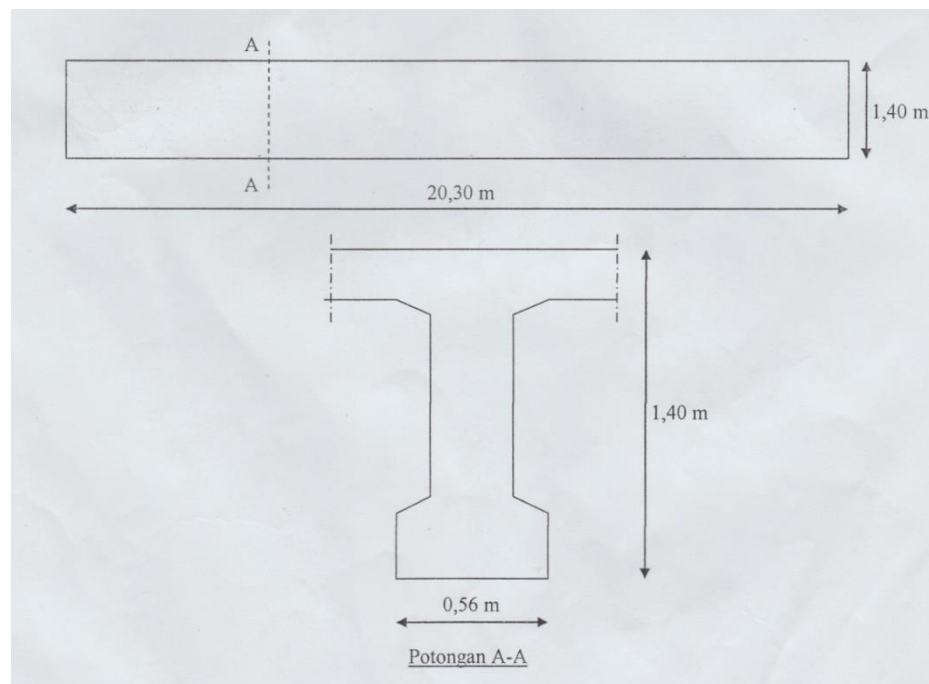
4.1 Data-data yang diperoleh dari lapangan

Dimensi Girder Jembatan Maleleng Pangkep :

Lebar Girder = 0,56 m

Tinggi Girder = 1,40 m

Panjang Girder = 20,30 m



Gambar 4.1 Girder Jembatan Maleleng

Material yang digunakan :

Concrete($f'c$) = 29,05 Mpa (K350)

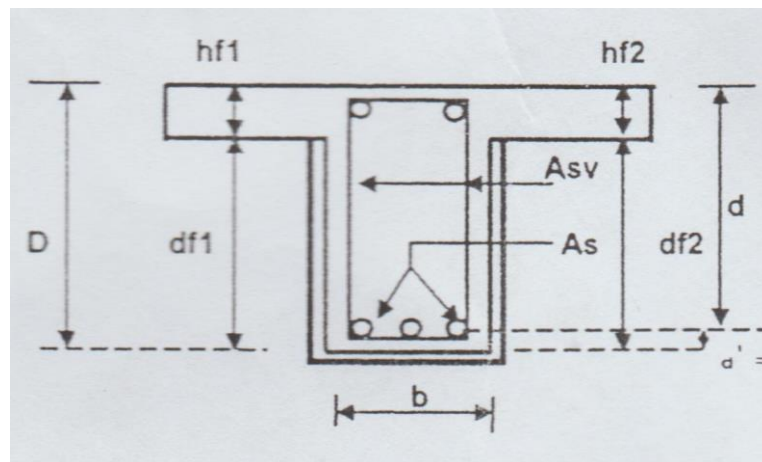
Ulir untuk tulangan $>\varnothing 12\text{mm}$, $F_y = 390 \text{ Mpa}$

Dari pola retak yang diperoleh melalui observasi lapangan tampak pada girder jembatan bahwa jenis pola retak yang terjadi adalah retak geser lentur (*flexural shear crack*) . Retak geser lentur (*flexural shear crack*) terjadi pada badan balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur.

4.3 Analisa kapasitas geser balok girder jembatan Maleleng sebelum dan setelah diperkuat dengan *GFRP SEH51A*

- a) Data-data yang digunakan dalam perhitungan

Gambar penampang girder jembatan Maleleng :



Gambar 4.4 Penampang girder jembatan Maleleng

Data yang diketahui :

- | | | | |
|---------|----------|--------|-----------|
| - b | = 560 mm | - D | = 1400 mm |
| - $hf1$ | = 250 mm | - d' | = 76 mm |
| - $hf2$ | = 250 mm | - d | = 1324 mm |

- $F'_c = 29.05 \text{ N/mm}^2$ $\phi = 0.85$ untuk U wrapping
- $F_{yv} = 240 \text{ N/mm}^2$
- Tulangan geser 2 \emptyset 10 mm @ 100mm

b) Kapasitas geser balok girder jembatan sebelum diperkuat (*berdasarkan ACI 318-1995*) :

1. Kapasitas geser oleh beton (V_c) :

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \dots \dots \dots (\text{ACI 138-1995. Sec 11.3})$$

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{29,05}}{6} \right) (560)(1324)$$

$$V_c = 666.04 \text{ kN}$$

2. Kapasitas geser oleh tulangan sengkang (V_s)

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s} \dots \dots \dots (\text{ACI 138-1995. Sec 11.5.6})$$

$$V_s = (157)(240) \frac{1324}{100} = 499 \text{ kN}$$

Kapasitas geser total yang dimiliki oleh girder Jembatan Maleleng sebelum di perkuat adalah :

$$V_t = (V_c + V_s)$$

$$V_t = (666.04 + 499)$$

$$\mathbf{V_t = 1165.04 \text{ kN}}$$

c) Kapasitas geser balok girder jembatan dengan perkuatan GFRP SEH51A :

Komponen-komponen yang diperhitungkan dalam perhitungan peningkatan kapasitas geser yang diberikan oleh GFRP adalah :

Tabel 4.1 Komponen yang diperhitungkan dari GFRP

Komponen	Nilai
ϵ_{fu} (strain level in the FRP reinforcement)	0,022
t_f (nominal thickness of one ply of FRP reinforcement)	1,3 mm
W_f (width of FRP reinforcing plies)	6800 mm
d_{fv} (effective depth of FRP shear reinforcement)	1074 mm
E_f (tensile modulus of elasticity of FRP)	26,1 GPa
A_{fv} (area of FRP shear reinforcement)	17680 mm ²
f_{fe} (effective stress in the FRP)	104,4 N/mm
κ_v (dependent coefficient for shear)	0.004

Untuk perencanaan perkuatan geser berdasarkan kegagalan akibat retaknya (*fracture mechanisme*) FRP, ACI Committee Report 440 memberikan persamaan:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f}$$

- $A_{fv} = 2n t_f w_f$

$$A_{fv} = 2(1)(1,3)(6800)$$

$$A_{fv} = \underline{17680} \text{ mm}^2$$

- $f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f$, untuk nilai $\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004$

- $\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}}$,

$$L_e = \frac{23300}{(n_f t_f E_f)^{0.58}}$$

$$L_e = \frac{23300}{(1x \ 1,3x \ 26100)^{0.58}}$$

$$L_e = 54,90$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3}$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}}$$

$$k_1 = \left(\frac{29,05}{27} \right)^{2/3}$$

$$k_2 = \frac{1074 - 54,90}{1074}$$

$$k_1 = 1,05$$

$$k_2 = 0,95$$

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}}$$

$$\kappa_v = \frac{(1,05)(0,95)(54,90)}{11900(0,022)}$$

$$\kappa_v = 0.004$$

$$\text{maka, } f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f = \kappa_v \varepsilon_{fu} E_f$$

$$= (0,004)(0,022)(26100) = \underline{104,4} \text{ N/mm}$$

Karena setiap nilai telah di peroleh maka perkuatan geser akibat retaknya FRP adalah :

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f}$$

$$V_f = \frac{(17680)(104,4)(\sin 90 + \cos 90)(1074)}{1}$$

$$\underline{V_f = 1982,38 \text{ KN}}$$

Maka pertambahan kapasitas geser yaitu :

$$\mathbf{V_{addf} = \emptyset V_f = (0.85)(1982,38) = \underline{1685,02 \text{ KN}}}$$

d) Peningkatan nilai kapasitas geser

$$V_{new} = V_s + V_{addf}$$

$$= 499 \text{ KN} + \underline{1685,02 \text{ KN}}$$

$$= \underline{2184,02 \text{ KN}}$$

e) Persentase peningkatan nilai kapasitas geser setelah diperkuat dengan menggunakan GFRP :

$$\frac{V_t}{V_{new}} \times 100\% = \frac{1165,04}{2184,02} \times 100\%$$

$$= \underline{53,34 \%}$$

4.4 Model Perkuatan Stuktur yang Dibutuhkan Girder Jembatan Maleleng

Dalam pemilihan metode perkuatan, harus diperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang

tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan. Untuk perkuatan pada Jembatan Maleleng kabupaten Pangkep, hal-hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

a) Kapasitas Struktur

Jembatan Maleleng merupakan jembatan yang menghubungkan kota antar provinsi sehingga jembatan ini selalu ramai oleh kendaraan, baik kendaraan yang bermuatan ringan maupun kendaraan dengan muatan yang berat. Hal ini menggambarkan bahwa kapasitas struktur jembatan ini haruslah cukup kuat untuk menahan beban-beban dari kendaraan yang melintas. Dengan demikian untuk melakukan perkuatan pada jembatan ini harus dipilih metode yang telah teruji dan mampu memberikan peningkatan struktur yang cukup untuk memperpanjang umur dari jembatan.

b) Lingkungan dimana struktur berada

Posisi dari jembatan maleleng terletak ± 100 m dari pinggir laut dan dibawahnya mengalir sungai yang bermuara langsung ke laut. Letak dari jembatan ini dapat menyebabkan dengan mudah terjadinya korosi pada tulangan, mengingat telah terjadi retakan pada beton sebagai pelindung tulangan sehingga dapat membuat tulangan terkontaminasi oleh air laut. Dengan demikian untuk melakukan perkuatan struktur pada jembatan Maleleng tidak hanya fokus kepada kapasitas struktur tetapi juga harus

memperhitungkan dampak lingkungan terbuka, baik air asin (air laut) maupun bahan kimia lainnya terhadap bahan perkuatan yang digunakan.

c) Keterbatasan ruang kerja

Mengingat di bawah Jembatan Maleleng mengalir sungai yang bermuara ke laut ini membuat ruang kerja dibawah jembatan sangatlah terbatas sehingga harus di pilih metode yang tidak terlalu banyak membutuhkan alat dalam proses pelaksanaan perkuatan

d) Waktu dan kemudahan pelaksanaan

Jembatan Maleleng yang mempunyai fungsi dan letak yang strategis sebagai penghubung Kota antar provinsi di Sulawesi Selatan membuat metode yang harus dipilih dalam perkuatan jembatan ini haruslah metode yang waktu pelaksanaannya cukup cepat/singkat serta mudah dilaksanakan dalam artian tidak harus menyebabkan terjadinya kelumpuhan (kemacetan) aktifitas antar kota yang memanfaatkan jembatan ini untuk berbagai kepentingan.

e) Biaya perkuatan

Pada era skarang ini sudah begitu banyak jenis metode perkuatan balok yang mengalami kegagalan struktur . Hal ini harus membuat kita harus teliti dalam memilih jenis metode perkuatan yang paling maksimal dengan biaya minimal.

Dengan mempertimbangkan hal-hal diatas dalam metode perkuatan strukutur yang mengalami kerusakan, maka pada kasus jembatan Maleleng ini

metode perkuatan yang paling baik dan sesuai yakni dengan menggunakan FRP (*fiber reinforced polymer*) . Adapun Jenis FRP yang digunakan adalah tipe *Glass* yakni **SEH51A**.

4.5 Prosedur Pelaksanaan Perbaikan Struktur dengan FRP

1. Persiapan Permukaan

- a. Semua material finishing seperti plesteran dan coating harus dihilangkan dari permukaan beton
- b. Permukaan beton yang tidak rata atau bergelombang harus diratakan dengan metode grinding
- c. Permukaan Beton yang berlubang harus diisi dengan material cementious non shrink atau epoxy modified material.



Gambar 4.5 Proses persiapan permukaan beton

2. Pencampuran Epoxy

- a. Kelembapan dan suhu Tyfo Epoxy S pada saat pencampuran adalah 10°C dan 38°C.

- b. Komponen Tyfo epoxy S harus dicampur dengan proporsi Parts A: Part B; 100:3,5 diaduk dengan mixer berkecepatan rendah selama 3-5 menit.



Gambar 4.6 Proses Pencampuran tyfo epoxy

3. Priming Permukaan Beton

Priming dengan Tyfo Epoxy S pada seluruh permukaan Beton :



Gambar 4.7 Proses Priming permukaan beton

4. Saturasi lembaran FRP

- a. Potong Lembaran FRP sesuai dengan kebutuhan permukaan beton yang akan diperkuat

- b. Saturasi antara lembaran FRP dan tyfo epoxy S harus dilakukan secara berhati-hati dan terukur dan Lembaran FRP yang sudah dibasahi dengan Tyfo Epoxy S harus ditempatkan di tempat yang khusus.



Gambar 4.8 Proses Saturasi Lembaran FRP

5. Wrapping lembaran FRP

Lembaran FRP yang sudah di saturasi dengan tyfo S epoxy di *Wrapping* layer per layer pada permukaan beton yang sudah di priming terlebih dahulu dengan tyfo S epoxy.



Gambar 4.9 Proses wrapping lembaran FRP

6. Curing time

- a. Waktu pengeringan dari pemasangan FRP harus sesuai dengan ketentuan produsen dan biasana antara 48-72 jam tergantung pada kondisi kelembapan udara.
- b. Temperatur pada saat masa pengeringan harus sesuai dengan ketentuan produsen
- c. Permukaan Komposit harus mempunyai ketebalan dan kepadatan yang sama dan antar layer harus melekat dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya celah atau cekungan/udara didalam lembaran FRP.

7. Finishing

Setelah aplikasi, permukaan dari lembaran FRP dimungkinkan untuk di keramik atau diplester. Jika hal ini digunakan, butiran pasir yang lembut harus di taburkan pada permukaan FRP yang masih basah dan setelah 24 jam bisa diplester. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kelekatan yang baik antara permukaan komposit dan plesteran.

8. Pemeriksaan dan perbaikan

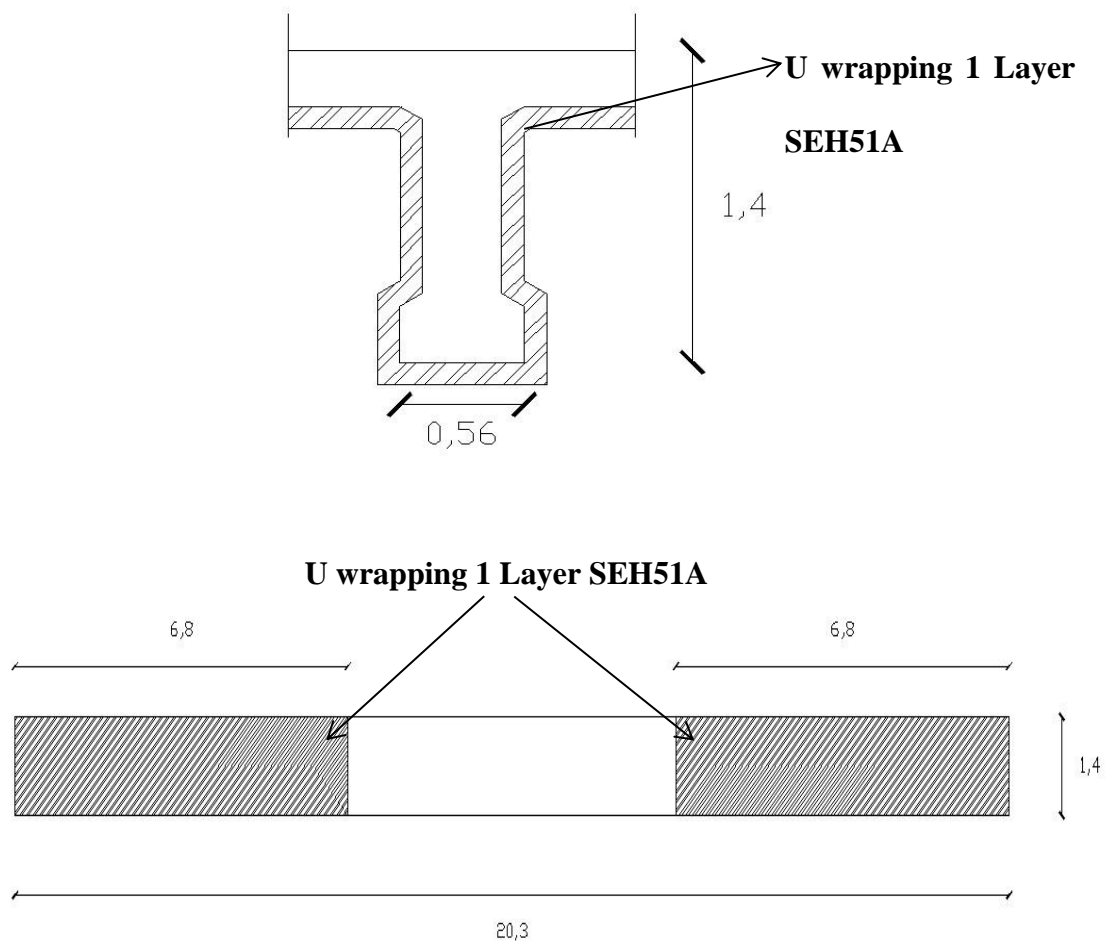
- a. Komposit Lembaran FRP harus diberikan perawatan maksimal, permukaan komposit yang sudah mengeras harus di ketok menggunakan palu untuk mendeteksi adanya gelembung atau ruang yang berisi udara, apabila ditemukan hal tersebut harus dilakukan injeksi dengan epoxy

b. Urutan perbaikan komposit yang terdapat gelembung udara , harus dilakukan sebagai berikut :

- Bor lubang dengan diameter 5 mm pada ujung gelembungnya. Untuk vertical komposit pada bagian yang paling atas gelembung dan paling bawah. Jumlah lubang harus disesuaikan dengan kebutuhan.
- Pasang Grout port sebagai jalur untuk masuk dan keluar material injeksi
- Inject epoxy dengan tekanan melalui port grouting dengan cara bertahap, dari ujung satu ke ujung lainnya (dari yang terendah ke bagian yang tertinggi). Apabila epoxy sudah keluar dari grout port yang lain, berarti void tersebut sudah penuh dan injeksi dapat dilakukan ke void berikutnya.
- Biarkan area injeksi selama 12 jam, sebelum grout port dilepas.

c. Pemeriksaan akhir dilakukan untuk memeriksa gelembung yang mungkin masih ada. Pada umumnya, apabila masih terdapat gelembung dengan luasan 5% dari total wrapping, hal tersebut masih di terima, dengan criteria tidak terdapat ukuran gelembung dengan ukuran lebih dari 20mm.

4.6 Gambaran Perkuatan Jembatan Maleleng



Gambar 4.10 Balok Girder Jembatan maleleng yang diperkuat SEH51A

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada studi kasus girder jembatan Malelleng , maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola retak yang terjadi merupakan pola Retak Geser Lentur (*flexural shear crack*).
2. Metode yang digunakan untuk mengatasi kegagalan struktur pada bidang geser adalah menggunakan GFRP (*fiber reinforced polymer*) dengan *U wrapping 1 layer* yakni **SEH51A**.
3. Nilai kapasitas geser meningkat sebesar **53,34 %** setelah diperkuat menggunakan GFRP SEH51A .

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas maka diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk penggambaran pola retak di lapangan harus dilakukan secara teliti agar tidak terjadi kesalahan dalam menentukan pola retak yang terjadi.
2. Untuk memperoleh nilai perkuatan kapasitas geser yang maksimal hendaknya proses pemasangan GFRP dilaksanakan sesuai dengan

prosedur dan dilaksanakan proses pemeriksaan dan perbaikan setelah pemasangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, Fikri dan Widyawati, R. 2010. *Studi Eksperimental Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Dengan GFRP (GLASS FIBER REINFORCED POLYMER)*. Jurnal Rekayasa. 14,(2), 109-123.
- American Concrete Institute (ACI). 2008. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI 318-08.
- American Concrete Institute (ACI). 2008. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. ACI 440.2R-08.
- Fyfe Co. *Tyfo SEH-51A Composite*. California: Fyfe Co.
- Fyfe Fibrwrap Indonesia. 2014. *Strengthening Document : Reviewed To Existing Of Girder Structures For Malelleng Bridge*. Tangerang : Fyfe Co.
- McCormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang. Edisi kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Penuntun Praktikum Laboratorium Struktur dan Bahan. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. 2007.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. SK-SNI-03-2847-2002.